

## 共同研究チーム編成ツールの開発

## Developing a Tool for Collaboration Team Formation

吉崎 大貴<sup>1</sup>沖本 天太<sup>2</sup>平山 勝敏<sup>2</sup>神戸大学海事科学部<sup>1</sup> 神戸大学大学院海事科学研究科<sup>2</sup>

## 1 序論

どのようにチームを編成するかという問題は、マルチエージェントシステムにおける重要な課題の1つである。チーム編成問題 [4, 5] とは、異なるスキルをもつエージェントの集合から、与えられたプロジェクトを達成するような部分集合（チーム）を決定・編成する問題であり、代表的な応用問題として、無線探索機オペレーション [1]、ロボカップレスキュー [2]、ソーシャルネットワークにおけるチーム編成 [3] 等が挙げられる。

少子高齢化、地球温暖化、防災・減災、サイバー・セキュリティ等の複雑化する社会問題を解決していくには、異なる専門分野の研究者らによる共同研究が必要である。どのように共同研究チームを編成するかという問題は、与えられた研究プロジェクトの成功を左右する重要なキーワードの1つである。

本論文では、チーム編成のフレームワークを用いて、共同研究チーム編成 (Collaboration Team Formation, CTF) 問題を定義する。さらに、CTF ツールを開発し、神戸大学大学院海事科学研究科の研究者らを対象に本ツールを実装する。本ツールは、ユーザ（研究代表者）が科研費等の外部資金獲得のため、共同研究チームを編成する際の補助を目的としており、研究課題に関するキーワード及び、構成メンバー数を入力値とし、与えられたキーワードを専門とする最適かつ、特定の専門分野に偏っていない、バランスの取れた共同研究チームを出力する。

## 2 共同研究チーム編成

本章では、共同研究チーム編成 (Collaboration Team Formation, CTF) を定義する。CTF は  $\langle R, K, \alpha, \varphi \rangle$  の組により定義される。 $R = \{r_1, \dots, r_n\}$  は研究者の集合を表し、 $R$  の部分集合  $T \subseteq R$  を共同研究チームと呼ぶ。 $K = \{k_1, \dots, k_m\}$  は専門分野に関するキーワードの集合を表し、 $K$  の部分集合  $P \subseteq K$  をプロジェクトと呼ぶ。 $\alpha$  は  $R$  から  $2^K$  への写像を表し、研究者の専門分野に関するキーワードの集合を返す。例えば、 $\alpha(r) = \{k, k'\}$  は研究者  $r$  がキーワード  $k$  及び  $k'$  をもつことを意味する。また  $\varphi$  はキーワードに関する評価関数を表す。

共同研究チーム  $T$  及び、プロジェクト  $P$  に関して、 $T$  の  $P$  に関する達成可能性及び、達成度評価を以下のように定義する。

**定義 1** (達成可能性). 共同研究チーム編成 CTF =  $\langle R, K, \alpha, \varphi \rangle$  における、ある共同研究チーム  $T \subseteq R$  及び、プロジェクト  $P \subseteq K$  に関して、以下が成立するとき、共同研

究チーム  $T$  はプロジェクト  $P$  に関して達成可能であるという。

$$P \subseteq \bigcup_{r_i \in T} \alpha(r_i). \quad (1)$$

ある研究者  $r \in R$  がプロジェクト  $P$  の要素をキーワードとしてもつかを判定する関数を、以下のように定義する。

$$f(r, k) = \begin{cases} 1 & k \in \alpha(r), \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

**定義 2** (達成度評価). 共同研究チーム編成 CTF =  $\langle R, K, \alpha, \varphi \rangle$  及び、あるプロジェクト  $P \subseteq K$  において、 $T \subseteq R$  を  $P$  に関して達成可能な共同研究チームとする。このとき、 $T$  及び非負整数  $q$  に関して、以下が成立するとき、 $P$  に関して達成可能な共同研究チーム  $T$  の達成度評価は  $q$  であるという。

$$\varphi(T, P) = \sum_{r \in T} \sum_{k \in P} f(r, k) \geq q \quad (3)$$

構成メンバー数、あるプロジェクトに関する達成可能性及び、達成度評価を考慮した CTF 問題は以下のように定義される。

**定義 3** (CTF 問題).

- **Input:** 共同研究チーム編成 CTF =  $\langle R, K, \alpha, \varphi \rangle$ , プロジェクト  $P$ , 非負整数  $s$  及び  $q$ ,
- **Question:**  $P$  が達成可能であり、達成度評価が  $q$  となる  $s$  人からなる共同研究チーム  $T$  は存在するか?

**例 1** (CTF 問題). CTF =  $\langle \{r_1, \dots, r_4\}, \{k_1, \dots, k_5\}, \alpha, \varphi \rangle$  を共同研究チーム編成、 $P = \{k_1, k_3, k_5\}$  をプロジェクト、 $q = 5$  を  $P$  に関する達成度評価、 $s = 3$  を構成メンバー数とする。また、各研究者の専門分野に関するキーワードを  $\alpha(r_1) = \{k_1, k_2, k_4\}$ ,  $\alpha(r_2) = \{k_1, k_2, k_5\}$ ,  $\alpha(r_3) = \{k_1, k_3, k_4\}$ ,  $\alpha(r_4) = \{k_2, k_3\}$  とする。構成メンバー数が  $s = 3$  となる共同研究チームは表 1 に示すように 4 つ存在し、プロジェクト  $P$  が達成可能なチームは  $T_1, T_2, T_4$  である ( $T_3$  は  $k_5$  をもつ研究者がいないため、 $P$  に関して達成可能ではない)。

$T_1, T_2, T_4$  の内、達成度評価が  $q = 5$  であるチームは  $T_1$  と  $T_4$  である ( $T_2$  の達成度評価は  $\varphi(T_2, P) = 4 < 5$  であるため)。以上より、この問題において、構成メンバー数が  $s = 3$  であり、プロジェクト  $P$  に関して達成可能である、かつ、達成度評価が  $q = 5$  となるような共同研究チームは  $T_1$  及び  $T_4$  となる。

表1 構成メンバー数3の共同研究チーム.

共同研究チーム	構成メンバー	達成可能性	達成度評価
$T_1$	$\{r_1, r_2, r_3\}$	Yes	5
$T_2$	$\{r_1, r_2, r_4\}$	Yes	4
$T_3$	$\{r_1, r_3, r_4\}$	No	/
$T_4$	$\{r_2, r_3, r_4\}$	Yes	5

以下, バランスの取れた共同研究チームに関して議論する. ある研究者  $r$  におけるプロジェクト  $P$  の各要素の値を  $\bar{p}_r = (f(r, k_1), \dots, f(r, k_{|P|}))$  のようにベクトルで表し,  $r$  の  $P$  に関する  $\bar{p}_r$ -ベクトルと呼ぶ. また, 任意の2つの  $\bar{p}_r$ -ベクトル,  $\bar{p}_{r_i} = (f(r_i, k_1), \dots, f(r_i, k_{|P|}))$  及び  $\bar{p}_{r_j} = (f(r_j, k_1), \dots, f(r_j, k_{|P|}))$  に関して,  $\bar{p}_{r_i}$  と  $\bar{p}_{r_j}$  の和を  $\bar{p}_{r_i} \oplus \bar{p}_{r_j} = (f(r_i, k_1) + f(r_j, k_1), \dots, f(r_i, k_{|P|}) + f(r_j, k_{|P|}))$  のように定義する. ある共同研究チーム  $T$  及び, プロジェクト  $P$  に関して,  $T$  に属する各研究者  $r \in T$  の  $\bar{p}_r$ -ベクトルの総和  $\bigoplus_{r \in T} \bar{p}_r$  を  $T$  のプロジェクト  $P$  に関する  $\bar{p}_T$ -ベクトルと呼ぶ. また, 2つの  $\bar{p}_T$ -ベクトル  $\bar{p}_{T_i}$  及び  $\bar{p}_{T_j}$  に関して, 両者の各要素の総和が等しいとき,  $\bar{p}_{T_i}$  及び  $\bar{p}_{T_j}$  は  $P$  に関して同等であるという. 同等な  $\bar{p}_T$ -ベクトルからなる集合を  $P_R$  と記述し,  $P_R$  上の前順序は  $\leq_{lex}$  により与えられるものとする, すなわち,  $\forall \bar{p}_{T_i}, \bar{p}_{T_j} \in P_R$  に関して,  $\bar{p}_{T_i}$  が辞書式順序において  $\bar{p}_{T_j}$  よりも先行している, またそのときに限り,  $\bar{p}_{T_i} \leq_{lex} \bar{p}_{T_j}$  と定義する. 例えば, 例1の共同研究チーム編成問題の  $T_1$  及び  $T_4$  は, プロジェクト  $P = \{k_1, k_3, k_5\}$  に関して同等である (なぜなら,  $\bar{p}_{T_1} = (3, 1, 1)$  及び  $\bar{p}_{T_4} = (2, 2, 1)$  の各要素の総和は互いに5と等しいため).  $\bar{p}_{T_1}$  及び  $\bar{p}_{T_4}$  において, 要素を小さい順に並び替えると  $(1, 1, 3)$  及び  $(1, 2, 2)$  となる. 第1項の要素から両者を比較していく. 第1項は両者とも等しいため第2項を比較する. 2は1より大きいため,  $\bar{p}_{T_1} \leq_{lex} \bar{p}_{T_4}$  が成立する.

定義 4 (バランス性). 共同研究チーム編成  $CTF = \langle R, K, \alpha, \varphi \rangle$  において, あるチーム  $T$  がプロジェクト  $P$  に関してバランスが取れているとは,  $\bar{P}_T \leq_{lex} \bar{P}_{T'}$  となるような,  $\bar{P}_T$ -ベクトルと同等な  $\bar{P}_{T'}$ -ベクトルをもつ他のチーム  $T'$  が存在しないことを意味する. 例えば, 例1において,  $T_4$  は  $T_1$  より, プロジェクト  $P$  に関してバランスが取れているという.

### 3 共同研究チーム編成ツール

CTF ツールは, 研究課題に関するキーワード及び, 構成メンバー数を入力値とし, 研究者データベースから与えられたキーワードを専門とする最適かつ, バランスの取れた共同研究チームを出力する. 最適な共同研究チームとは, プロジェクト  $P$  に関して式 (3) の達成度  $q$  が最大化されるようなチームを指す.

実験では, 神戸大学大学院海事科学研究科 (グローバル輸送科学科) の研究者 32 名を対象に本ツールを実装した. 表2に構成メンバー数  $s = 4$ , プロジェクト  $P = \{人工知能, 船舶,$

表2 構成メンバー数  $s = 4$ , プロジェクト  $P = \{人工知能, 船舶, 衝突回避\}$  としたときの共同研究チーム.

共同研究チーム $T$	$\bar{P}_T$ -ベクトル	共同研究チーム $T$	$\bar{P}_T$ -ベクトル
$\{r_1, r_2, r_3, r_4\}$	(1, 3, 1)	$\{r_2, r_3, r_4, r_6\}$	(1, 3, 1)
$\{r_1, r_2, r_4, r_5\}$	(1, 3, 1)	$\{r_2, r_3, r_4, r_7\}$	<b>(2, 2, 1)</b>
$\{r_1, r_2, r_4, r_6\}$	(1, 3, 1)	$\{r_2, r_4, r_5, r_6\}$	(1, 3, 1)
$\{r_1, r_2, r_4, r_7\}$	<b>(2, 2, 1)</b>	$\{r_2, r_4, r_5, r_7\}$	<b>(2, 2, 1)</b>
$\{r_1, r_3, r_4, r_7\}$	(1, 3, 1)	$\{r_3, r_4, r_5, r_7\}$	(1, 3, 1)
$\{r_1, r_4, r_5, r_7\}$	(1, 3, 1)	$\{r_2, r_4, r_6, r_7\}$	<b>(2, 2, 1)</b>
$\{r_1, r_4, r_6, r_7\}$	(1, 3, 1)	$\{r_3, r_4, r_6, r_7\}$	(1, 3, 1)
$\{r_2, r_3, r_4, r_5\}$	(1, 3, 1)	$\{r_4, r_5, r_6, r_7\}$	(1, 3, 1)

衝突回避} としたときの共同研究チームを示す\*1. 最適な共同研究チームは全部で16チーム存在し, その内, プロジェクト  $P$  に関してバランスの取れた最適かつ, 平等なチームは,  $\{r_1, r_2, r_4, r_7\}$ ,  $\{r_2, r_3, r_4, r_7\}$ ,  $\{r_2, r_4, r_5, r_7\}$ ,  $\{r_2, r_4, r_6, r_7\}$  の4つであった (表2の  $\bar{P}_T$ -ベクトルが太字のチームを参照).

### 4 結言

本論文では, 共同研究チーム編成 (Collaboration Team Formation, CTF) 問題のフレームワークを定義した. また, この問題を解く CTF ツールを開発し, 実験では神戸大学大学院海事科学科の研究者らを対象に, いくつかの研究プロジェクトに対して, 最適かつバランスの取れた共同研究チームを編成した.

今後の課題として, 各研究者の専門分野に関するキーワードの入手方法が挙げられる. 本論文では, 専門分野に関するキーワードを web 上の KAKEN データベースより入手しているが, 研究者らが現在取り組んでいる研究に関するキーワードを研究成果 (最新の論文等) から入手する方法が必要であると考えられる. その他にも, 各研究者の業績評価 (ジャーナル論文数や科研費等の外部資金獲得数) を考慮した CTF の拡張が挙げられる.

謝辞: 本研究の遂行にあたり, 高橋産業経済研究財団 (整理番号: 公財 07-003-105) の研究助成を受けました. ここに深く感謝致します.

### 参考文献

- [1] J. George, J. Pinto, P. B. Sujit, and J. B. Sousa. Multiple uav coalition formation strategies. In *AAMAS*, pages 1503–1504, 2010.
- [2] H. Kitano and S. Tadokoro. Robocup rescue: A grand challenge for multiagent and intelligent systems. *AI Magazine*, 22(1):39–52, 2001.
- [3] T. Lappas, K. Liu, and E. Terzi. Finding a team of experts in social networks. In *KDD*, pages 467–476, 2009.
- [4] R. Nair and M. Tambe. Hybrid bdi-pomdp framework for multiagent teaming. *Journal of Artificial Intelligent Research*, 23:367–420, 2005.
- [5] T. Okimoto, N. Schwind, M. Clement, T. Ribeiro, K. Inoue, and P. Marquis. How to form a task-oriented robust team. In *AAMAS*, pages 395–403, 2015.

\*1 紙面の都合上, その他の結果に関しては研究発表時に紹介する.